

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-161919

(43) 公開日 平成11年(1999) 6月18日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-257921

(22) 出願日 平成10年(1998) 9月11日

(31) 優先権主張番号 08/947282

(32) 優先日 1997年10月7日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシー
ズ・コーポレーションINTERNATIONAL BUSIN
ESS MACHINES CORPO
RATIONアメリカ合衆国10504、ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)(72) 発明者 スチュアート・ステファン・パップワー
ス・パーキンアメリカ合衆国95123、カリフォルニア州
サン・ホセ、ロイヤル・オーク・コート
6264

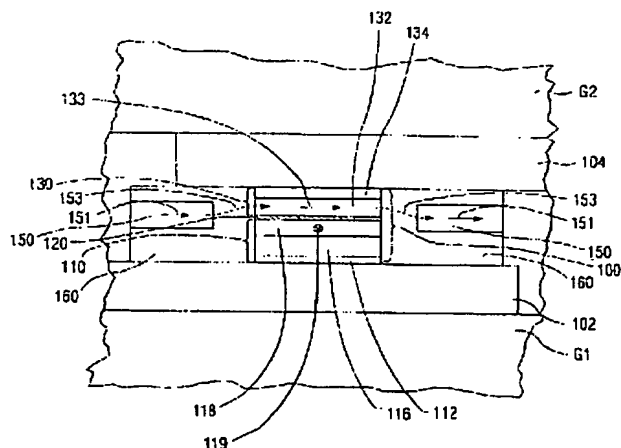
(74) 代理人 弁理士 坂口 博 (外1名)

(54) 【発明の名称】 磁気トンネル接合素子及び読取りセンサ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 MT J 素子の形成を多大に複雑化すること無く、単一の素子内の強磁性層間のまたはMT J 素子間の静磁気相互作用を制御可能に低減するように、強磁性層のネットの磁気モーメントが低減されるMT J 素子を提供すること。

【解決手段】 磁気記録読取りヘッドまたは磁気メモリ記憶セル内で有用な改善された磁気トンネル接合 (MT J 素子) が、2つの強磁性層、すなわち“ハード”または“固定”強磁性層 118 及び検出または“自由”強磁性層 132 から成り、これらが薄い絶縁トンネル層 120 により分離される。強磁性層の各々は、薄い反強磁性結合膜 116 を跨いで互いに反強磁性に結合される、2つのより薄い強磁性膜から形成される多重層である。反強磁性結合膜はその材料組成及び厚さに関し、外部磁場が無いとき自身を挟む2つの強磁性膜の磁気モーメント 133 が、互いに逆平行に整列されるように選択される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】印加磁場の存在の下で、磁気モーメントが好適な方向に固定され、互いに反強磁性的に結合される第1及び第2の強磁性膜と、前記第1及び第2の強磁性膜の間に接触して配置される反強磁性結合膜とを含む、固定強磁性多重層と、

印加磁場の存在の下で、磁気モーメントが自由に回転でき、互いに反強磁性的に結合される第1及び第2の強磁性膜と、前記第1及び第2の強磁性膜の間に接触して配置される反強磁性結合膜とを含む、自由強磁性多重層と、

前記固定強磁性多重層と前記自由強磁性多重層との間に接触して配置され、前記固定強磁性多重層及び自由強磁性多重層間のトンネル電流を許可する絶縁トンネル層とを含む、磁気トンネル接合素子。

【請求項2】前記固定強磁性多重層及び自由強磁性多重層の磁気モーメントが、印加磁場が不在の時に互いに平行または逆平行である、請求項1記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項3】前記自由強磁性多重層の磁気モーメントが、印加磁場が不在の時に前記固定強磁性多重層の磁気モーメントに垂直である、請求項1記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項4】前記磁気トンネル接合素子が、前記固定強磁性多重層の前記磁気モーメントを、界面交換結合により前記好適な方向に固定するための、前記固定強磁性多重層に接触する反強磁性層を含む、請求項1記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項5】前記固定強磁性多重層、前記絶縁トンネル層及び前記自由強磁性多重層が形成される基板を含み、前記固定強磁性多重層及び自由強磁性多重層が電気回路に接続されるとき、前記トンネル電流が前記絶縁トンネル層内を前記固定強磁性多重層及び自由強磁性多重層に垂直な方向に流れる、請求項1記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項6】前記各多重層内の前記第1及び第2の強磁性膜がCoまたはNi-Fe合金から形成され、前記各多重層内の前記反強磁性結合膜がRuから形成される、請求項1記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項7】前記各多重層内の前記第1の強磁性膜が第1及び第2の強磁性サブ膜から形成され、前記第1のサブ膜が前記絶縁トンネル層と接触し、 Co 、 $Co(100-x)Fe(x)$ (x は20乃至70の範囲)及びNi ($100-x)Fe(x)$ (x は約60)を含むグループから選択される材料から形成される、請求項1記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項8】磁気記録データからの外部磁場を検出する磁気トンネル接合読取りセンサであって、被検出外部磁場の範囲内の印加磁場の存在の下で、磁気モーメントが好適な方向に固定される固定強磁性多重層

であって、互いに反強磁性的に結合される第1及び第2の強磁性膜と、前記第1及び第2の強磁性膜の間に接触して配置され、前記第1及び第2の強磁性膜と一緒に反強磁性的に結合し、それらの磁気モーメントを互いに逆平行に整列させ、印加磁場の存在の下で該磁気モーメントを逆平行に維持する反強磁性結合膜とを含む、固定強磁性多重層と、

印加磁場が不在の時、前記固定強磁性多重層の磁気モーメントに垂直な磁気モーメントを有し、前記被検出外部磁場の範囲内の印加磁場の存在の下で、磁気モーメントを前記垂直方向から離れ、自由に回転できる検出強磁性多重層であって、互いに反強磁性的に結合される第1及び第2の強磁性膜と、前記第1及び第2の強磁性膜の間に接触して配置され、前記第1及び第2の強磁性膜と一緒に反強磁性的に結合し、それらの磁気モーメントを互いに逆平行に整列させ、印加磁場の存在の下で、該磁気モーメントを逆平行に維持する反強磁性結合膜とを含む、検出強磁性多重層と、

前記固定強磁性多重層の前記第1の膜と、前記検出強磁性多重層の前記第1の膜との間に接触して配置され、前記固定強磁性多重層及び前記検出強磁性多重層に垂直な方向にトンネル電流を許可する絶縁トンネル障壁層と、前記固定強磁性多重層、前記絶縁トンネル障壁層及び前記検出強磁性多重層が形成される基板であって、前記固定強磁性多重層及び前記検出強磁性多重層が前記被検出外部磁場に晒されるとき、前記検出強磁性多重層の磁気モーメントがその方向を前記固定強磁性多重層の磁気モーメントに対して変化させ、前記絶縁トンネル障壁層内を、前記固定強磁性多重層及び前記検出強磁性多重層に垂直な方向に流れる電流の電気抵抗が変化し、それにより外部磁場の検出を可能にする、基板と、を含む、磁気トンネル接合読取りセンサ。

【請求項9】前記固定強磁性多重層と接触し、該固定強磁性多重層の磁気モーメントを界面交換結合により前記好適な方向に固定する反強磁性層を含む、請求項8記載の磁気トンネル接合読取りセンサ。

【請求項10】前記固定強磁性多重層及び検出強磁性多重層の各々内の前記第1及び第2の強磁性膜が、CoまたはNi-Fe合金から形成され、各前記多重層内の前記反強磁性結合膜がRuから形成される、請求項8記載の磁気トンネル接合読取りセンサ。

【請求項11】前記固定強磁性多重層及び検出強磁性多重層の各々内の前記第1の強磁性膜が、第1及び第2の強磁性サブ膜から形成され、前記第1のサブ膜が前記絶縁トンネル障壁層と接触し、 Co 、 $Co(100-x)Fe(x)$ (x は20乃至70の範囲)及びNi ($100-x)Fe(x)$ (x は約60)を含むグループから選択される材料から形成される、請求項8記載の磁気トンネル接合読取りセンサ。

【請求項12】前記検出強磁性多重層の磁気モーメント

を印加磁場が不在の時、前記固定強磁性多重層の磁気モーメントに垂直な方向に、長手方向にバイアスするバイアス強磁性層と、前記バイアス強磁性層と前記検出強磁性多重層との間に配置され、前記バイアス強磁性層を前記検出強磁性多重層から電気的に絶縁する電気絶縁層とを含む、請求項8記載の磁気トンネル接合読取りセンサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【関連出願】本願は、1996年3月18日出願の米国特許出願第618300号（現米国特許第5650958号、対応日本国特許出願は特願平9-58777号）の継続出願である、1997年7月16日出願の米国特許出願第895118号に関連する。

【0002】

【発明の属する技術分野】本発明は一般に磁気トンネル接合（MTJ）素子に関して、特に、磁気的に記録されたデータを読み出す磁気抵抗（MR）ヘッドとして有用な、または磁気不揮発性メモリ素子内の磁気記憶セルとして有用なMTJ素子に関する。より詳細には、本発明は改善された強磁性層を有するMTJ素子に関する。

【0003】

【従来の技術】MTJ素子は薄い絶縁トンネル障壁層により分離される2つの強磁性層から成り、スピン分極電子トンネル現象にもとづく。強磁性層の1つは印加磁場の1方向に高い飽和磁場を有し、これは通常、他の強磁性層よりも高い保磁性による。絶縁トンネル障壁層は十分に薄いので、量子力学的トンネリング（quantum mechanical tunneling）が強磁性層間に発生する。トンネル現象は電子スピン依存型であり、MTJの磁気応答を2つの強磁性層の相対方位及びスピン分極の関数とする。

【0004】MTJ素子は基本的に、固体状態メモリのためのメモリ・セルとして提案された。MTJメモリ・セルの状態は検出電流がMTJを通じて、一方の強磁性層から他方の強磁性層に垂直に流れるときの、MTJの抵抗を測定することにより決定される。電荷キャリアが絶縁トンネル障壁層を横断するトンネリングの確率は、2つの強磁性層の磁気モーメント（磁化方向）の相対アライメントに依存する。トンネル電流はスピン分極され、このことは一方の強磁性層、例えばその磁気モーメントが固定のまたは回転を阻止される層から流れる電流が、もっぱら1スピン・タイプの電子から成ることを意味する（すなわち、強磁性層の磁気モーメントに依存して、スピン・アップまたはスピン・ダウン）。トンネル電流のスピン分極の度合いは、強磁性層とトンネル障壁層との界面における強磁性層を含む磁性材料の電子帯構造により決定される。従って、第1の強磁性層はスピン・フィルタとして作用する。電荷キャリアのトンネリングの確率は、第2の強磁性層内の電流のスピン分極と同一のスピン分極の電子状態の可用性に依存する。通常、

第2の強磁性層の磁気モーメントが第1の強磁性層の磁気モーメントに平行の場合、第2の強磁性層の磁気モーメントが第1の強磁性層のそれに逆平行の場合よりもより多くの有効な電子状態が存在する。従って、電荷キャリアのトンネリング確率は両方の層の磁気モーメントが平行の時に最も高く、それらの磁気モーメントが逆平行の時に最も低い。磁気モーメントが平行でも逆平行でもない場合には、トンネリング確率は中間の値を取る。従って、MTJメモリ・セルの電気抵抗は、両方の強磁性層内の電流のスピン分極及び電子状態に依存する。結果として、強磁性層の一体的に固定されない2つの可能な磁化方向が、メモリ・セルの2つの可能なビット状態

（0または1）を定義する。MTJメモリ・セルの可能性はしばらくの間知られてきたが、真剣な関心は、実際の構造内で及び非低温において予測される大きさの応答を達成する困難のために立ち遅れた。

【0005】磁気抵抗（MR）センサは、磁性材料から形成される読取り素子の抵抗変化を通じて磁場信号を検出する。この抵抗変化は、読取り素子により検出される磁束の強度及び方向の関数である。磁気記録ディスク・ドライブ内のデータを読み取るための従来のMRセンサは、バルク磁性材料（通常、パーマロイ（Ni₈₁Fe₁₉））の異方性磁気抵抗（AMR）効果にもとづき動作する。読取り素子抵抗の成分は、読取り素子内の磁化方向と読取り素子を流れる検出電流の方向との間の角度の余弦の平方として変化する。記録データは、例えばディスク・ドライブ内のディスクなどの磁性媒体から読取られる。なぜなら、記録磁気媒体からの外部磁場（信号磁場）が読取り素子内の磁化方向の変化を生じ、これが読取り素子の抵抗の変化及び検出電流または電圧の対応する変化を生じるからである。

【0006】メモリ・アプリケーションのためのMTJ素子の利用が、米国特許第5640343号及びIBMの米国特許第5650958号で提案されている。また、MR読取りヘッドとしてのMTJ素子の利用が、米国特許第5390061号で提案されている。こうしたMTJ素子に関する問題の1つは、強磁性層の磁化が磁気双極場を生成することである。これは特定の素子内の強磁性層間の静磁気相互作用を招き、またこうしたMTJ素子のアレイ、例えば不揮発性磁気メモリ・アレイとして提案されるMTJメモリ・セルのアレイ内のMTJ素子間の静磁気相互作用を招く。静磁気相互作用は、MTJ素子の断面積が減少するほど益々重要となる。メモリ・アプリケーションでは、隣接MTJメモリ・セル間の静磁気相互作用は個々のMTJメモリ素子の特性が、隣接MTJメモリ素子の状態により影響されることを意味する。このことはアレイ内のMTJ素子の記憶密度を制限する。なぜなら、隣接MTJメモリ素子がそれ以外の場合に要求されるよりも、離れて配置されなければならないからである。MR読取りヘッド・アプリケーション

ンでは、MT J 素子内の強磁性層間の静磁気相互作用は素子性能を制限する。更に、最適性能を得るために磁気記録システムのデータ記憶容量が増加されるに従い、MR 読取りヘッド内の磁束検出層の磁化が次第に低減されなければならない。

【0007】米国特許第5447482号及び同第5541868号では、GMR素子の磁気メモリ・アレイ内の素子間の静磁気相互作用を低減するために、中空円筒形状または中空ワッシャ形状の巨大磁気抵抗（GMR）素子が使用される。この方法はMR読取りヘッド・アプリケーションでは有用でない。その上、この方法は個々の磁気素子の形成をかなり複雑にする。更に、これらの素子は大きいことが必要である。なぜなら、中空の内部を有する素子を形成するために、素子が幾つかの最小面積のリソグラフィ正方形を含むからである。従って、これらの素子は高密度メモリ・アプリケーションには適切でない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従って、MT J 素子の形成を多大に複雑化すること無く（MR読取りヘッド・アプリケーション用の）単一の素子内の強磁性層間の、または（メモリ・アプリケーション用の）MT J 素子間の静磁気相互作用を制御可能に低減するように、強磁性層のネットの磁気モーメントが低減されるMT J 素子が必要とされる。本発明の目的は、かかるMT J 素子及び読取りセンサを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は特に、磁気記録システム内の磁気記録読取りヘッド内で、または磁気不揮発性メモリ内の磁気メモリ記憶セル内で有用な改善されたMT J 素子である。MT J 素子が本質的に2つの強磁性層、すなわち“ハード”（hard）“強磁性層または”固定（fixed）“強磁性層及び検出強磁性層または”自由（free）“強磁性層から成り、これらが薄い絶縁トンネル層により分離される。改善されたMT J 素子は積層化される強磁性層を用いて獲得され、固定強磁性層及び自由強磁性層の各々が、薄い非強磁性スペーサ層を跨いで互いに反強磁性に結合される、少なくとも2つのより薄い強磁性サブ層から形成される。スペーサ層または反強磁性結合層はその材料組成及び厚さに関して、外部磁場が無いときスペーサ層を挟む2つの強磁性サブ層の磁気モーメントが、互いに逆平行に整列されるように選択される。固定強磁性層及び自由強磁性層の磁気モーメントは、それらの各々を構成する2つの強磁性サブ層に、実質的に同一の磁気モーメントを所持させることにより任意に小さく選択され得る。従って、MT J 素子内の固定強磁性層及び自由強磁性層の各々からの双極場が最小化され、それにより固定強磁性層と自由強磁性層の間の磁気相互作用が低減される。磁気記録読取りヘッド・アプリケーションではMT J 素子の磁場に対する感度が改善

される。更に、固定強磁性層が磁場変位及び温度変位の両方を含む外部摂動に対してより安定である。更に改善されたMT J 素子は、高い面密度の記憶磁気ビットを有する磁気記録システムを可能にする。磁気メモリ・アプリケーションでは、改善された隣接MT J メモリ素子間の磁気相互作用が低減され、それによりこれらの素子のより大きな記憶密度を可能にし、従ってメモリ容量を増大させる。

【0010】

10 【発明の実施の形態】従来技術：本発明のMT J 素子は以下では、磁気記録ディスク・ドライブのMRセンサとして実現されるように述べられるが、本発明はメモリ・セルなどのMT J アプリケーション及び磁気テープ記録システムなどの他の磁気記録システムにも適用可能である。

【0011】図1を参照すると、MRセンサを用いるタイプの従来のディスク・ドライブの概要の断面図が示される。ディスク・ドライブは、ディスク駆動モータ12及びアクチュエータ14が固定されるベース10及びカバー11を含む。ベース10及びカバー11は、ディスク・ドライブのための実質的に封止されたハウジングを提供する。通常、ベース10とカバー11との間に配置されるガスケット13及びディスク・ドライブの内部と外部環境との間で圧力を等しくするための小さなブリーザ・ポート（breather port）（図示せず）が存在する。磁気記録ディスク16はハブ18により駆動モータ12に結合され、ハブが駆動モータ12により回転される。薄い潤滑膜50がディスク16の表面上に保持される。読取り／書込みヘッドまたはトランスジューサ25が、エア・ベアリング・スライダ20などのキャリアの末端部に形成される。トランスジューサ25は図3に関連して述べられるように、誘導書込みヘッド部分とMR読取りヘッド部分とを含む読取り／書込みヘッドである。スライダ20は剛性アーム22及びサスペンション24によりアクチュエータ14に接続される。サスペンション24はスライダ20を記録ディスク16の表面に押し当てるバイアス力を提供する。ディスク・ドライブの動作中、駆動モータ12が記録ディスク16を一定速度で回転し、アクチュエータすなわち通常、リニアまたはロータリ・ボイス・コイル・モータ（VCM）がスライダ20を一般に、記録ディスク16の表面を横断して半径方向に移動する。それにより、読取り／書込みヘッド25が記録ディスク16上の異なるデータ・トラックをアクセスし得る。

【0012】図2はカバー11が取り外されたディスク・ドライブの内部の上面図であり、これはスライダ20を記録ディスク16に向けて押し当てる力を提供するサスペンション24を詳細に示す。サスペンション24は周知のワトラス（Watrous）・サスペンション（IBMの米国特許第4167765号に記載）などの従来タイ

ブのサスペンションである。このタイプのサスペンションはまた、スライダのジンバル式装着を提供しこれはスライダがエア・ベアリング上を浮上するとき、ピッチ及びロールすることを可能にする。トランスジューサ25により記録ディスク16から検出されるデータは、アーム22上に配置される集積回路チップ15内の信号増幅及び処理回路によりデータ・リードバック信号に処理される。トランスジューサ25からの信号は可撓性ケーブル17を介してチップ15に伝達され、チップ15がその出力信号をケーブル19を介してディスク・ドライブ電子機構（図示せず）に送信する。

【0013】図3はMR読取りヘッド部分及び誘導書込みヘッド部分を含む集積化読取り／書込みヘッド25の断面図である。ヘッド25はエア・ベアリング面（ABS）を形成するためにラップされ、上述のようにABSがエア・ベアリングにより回転ディスク16（図1）の表面から間隔をあけられる。読取りヘッドは第1及び第2のギャップ層G1及びG2の間に挟まれるMRセンサ40を含み、これらのギャップ層が第1及び第2の磁気シールド層S1及びS2間に挟まれる。従来のディスク・ドライブでは、MRセンサ40はAMRセンサである。書込みヘッドはコイル層C及び絶縁層I2を含み、これらが絶縁層I1とI3との間に挟まれる。そして絶縁層I1及びI3は更に第1及び第2の磁極片P1、P2間に挟まれる。ギャップ層G3はABS近傍の極先端部において、第1及び第2の磁極片P1、P2間に挟まれ磁気ギャップを提供する。書込みの間、信号電流がコイル層Cを通じて伝導され、磁束が第1及び第2の極層P1、P2内に誘導され、その結果、磁束がABSにおいて極先端を横断して縁取る。この磁束は書込み動作の間、回転ディスク16上の環状トラックを磁化する。読出し動作の間、回転ディスク16上の磁化領域が磁束を読取りヘッドのMRセンサ40内に注入し、その結果MRセンサ40の抵抗が変化する。これらの抵抗変化が、MRセンサ40にかかる電圧変化を検出することにより検出される。電圧変化がチップ15（図2）及び駆動電子機構により処理されユーザ・データに変換される。図3に示される結合ヘッド25は“併合（merged）”ヘッドであり、そこでは読取りヘッドの第2のシールド層S2が、書込みヘッド用の第1の磁極片P1として使用される。ピギーバック・ヘッド（図示せず）では、第2のシールド層S2及び第1の磁極片P1が別々の層である。

【0014】AMR読取りヘッドを有する典型的な磁気記録ディスク・ドライブの上述の説明及び図1乃至図3は説明の都合上示されたものである。ディスク・ドライブは多数のディスク及びアクチュエータを含み得、各アクチュエータは多数のスライダをサポートし得る。更に、エア・ベアリング・スライダの代わりにヘッド・キャリアが、液体ベアリング式及び他の接触式または近接式記録ディスク・ドライブなどのように、ヘッドをデ

ィスクと接触または近接接触させるように維持するものであってもよい。

【0015】好適な実施例：本発明は、固定強磁性層及び自由強磁性層として機能する反強磁性的に結合される多重層を有するMTJ素子である。1実施例ではMTJ素子がMR読取りヘッド内のセンサであり、図3の読取り／書込みヘッド25内のMRセンサ40の代わりに使用される。

【0016】図4は本発明のMTJ MR読取りヘッドの断面図であり、これは図3のライン42で示されるエッジを有する平面をディスク面から見たものである。図4の紙面はABSに平行で実質的に活性検出領域、すなわちMTJ MR読取りヘッドのトンネル接合を貫く平面であり、ヘッドを構成する層を明らかにするものである。MTJ MR読取りヘッドはギャップ層G1基板上に形成される下部電気リード102、ギャップ層G2下の上部電気リード104及び上部及び下部電気リード102、104間のスタック層として形成されるMTJ素子100を含む。

【0017】MTJ素子100は第1の電極多重層スタック110、絶縁トンネル障壁層120及び上部電極スタック130を含む。電極の各々はトンネル障壁層120と直接接触する強磁性多重層、すなわち拘束または固定される強磁性多重層118及び自由または検出強磁性多重層132を含む。

【0018】電気リード102上に形成されるベース電極層スタック110は、リード102上のシードまたは“テンプレート”層112、テンプレート層112上の反強磁性材料層116及び下側にある反強磁性層116上にそれと交換結合されて形成される固定強磁性多重層118を含む。強磁性多重層118は固定層と呼ばれる。なぜならそのネットの磁気モーメントまたは磁化方向が、所望の対象の範囲内の印加磁場の存在の下で回転を阻止されるからである。上部電極スタック130は検出強磁性多重層132及び検出強磁性多重層132上に形成される保護またはキャッピング層134を含む。検出強磁性多重層132は反強磁性層と交換結合されず、そのネットの磁気モーメント及び磁化方向は対象の範囲内の印加磁場の存在の下でも自由に回転できる。検出強磁性多重層132は印加磁場が不在の場合、そのネットの磁気モーメントまたは磁化方向（矢印133で示される）が、ABS（図3）に一般に平行になるように且つ固定強磁性多重層118の磁化方向に一般に垂直になるように形成される。トンネル障壁層120の真下の電極スタック110内の固定強磁性多重層118は、その下方の強磁性層200と下部電極スタック110の一部を形成する真下にある反強磁性層116との界面交換結合によりその磁化方向を固定される。固定強磁性多重層118の磁化方向は一般にABSに垂直に、すなわち図4の紙面から出て行く方向または入り込む方向に向けられ

る(矢の尾 119 により示される)。(MTJ 素子の磁気メモリ・アプリケーションでは、印加磁場の不在の下で固定強磁性層 118 及び検出強磁性層 132 の磁化方向が、互いに平行または逆平行に整列され、メモリ素子への書き込み電流により生じる印加磁場の存在の下で、検出強磁性層 132 の磁化方向が平行と逆平行の間をスイッチする。)

【0019】図 5 に示されるように、固定強磁性多重層 118 は非強磁性膜 210 により分離される 2 つの強磁性膜 200 及び 225 のサンドイッチ構造から成り、これは強磁性膜 200 及び 225 の磁気モーメントが、互いに逆平行に整列されるように、強磁性膜 200 及び 225 を反強磁性的に結合することを目的とする。積層される固定強磁性多重層 118 内の 2 つの強磁性膜 200、225 は、反強磁性結合膜 210 を通じる反強磁性交換結合により、逆平行の磁気モーメントを有する。この反強磁性交換結合により及び 2 つの強磁性膜 200、225 が実質的に同一の厚さを有するように形成され得るので、強磁性膜の各々の磁気モーメントは実質的に互いに相殺し合い、本質的に固定強磁性多重層 118 内にはネットの磁気モーメントは存在しない。従って、固定強磁性多重層 118 により生成される磁気双極場は本質的に存在せずそれ故、検出強磁性層 132 の磁化方向に影響する磁場は存在しない。強磁性膜の各々を正確に同一の厚さに形成することは不可能であるので、固定強磁性多重層 118 のネットの磁気モーメントは小さいけれども、通常の付着プロセスの自然の結果としてこれは非 0 の値である。しかしながら、固定強磁性多重層 118 内に小さな非 0 のネットの磁気モーメントが存在するように、固定強磁性膜 200、225 の一方を他方の膜の厚さよりも僅かに大きな厚さに慎重に付着することが望ましかろう。このことは小さな磁場の存在の下で固定強磁性多重層 118 の磁化を安定に保証し、それにより反強磁性交換層 116 の熱設定の間にその磁化方向が予測可能になる。

【0020】同様に、強磁性層 132 は薄い非強磁性膜 260 により分離される 2 つの強磁性膜 245 及び 270 から成り、非強磁性膜 260 が強磁性膜 245 及び 270 の磁気モーメントを反強磁性的に結合する。固定強磁性層 118 内の強磁性膜 220 及び 225、並びに検出強磁性層 132 内の強磁性膜 245 及び 270 は、それら自体 2 つ以上の強磁性膜から構成され得るが、これらのサブ膜の磁気モーメントは互いに平行に整列される。なぜなら、隣接する強磁性膜が互いに強磁性的に結合されるからである。例えば図 5 において強磁性膜 245 は、2 つの強磁性サブ膜 240 及び 250 から形成されるように示される。強磁性膜 245 のネットの磁気モーメントは、サブ膜 240 及び 250 の磁気モーメントの総和である。それに対して検出強磁性層 132 の磁気モーメントは、強磁性膜 245 及び 270 の磁気モーメント

の差である。なぜなら、これらの層の磁気モーメントは逆平行結合層 260 の存在により、互いに逆平行に整列されるからである。各サブ膜 i が厚さ t_i を有し、これらの膜が図 5 の紙面に垂直な方向に単位厚さを有するように定義すると、サブ膜 i の磁気モーメントは $M_i \cdot t_i$ である。ここで M_i は、この層の 1 単位面積当たりの磁気モーメントである。 M_i は、ABS に平行な方向

(図 4 の矢印 133 の方向) に沿うサブ膜 i の磁気モーメントの方向に依存して正または負となる。従って、検出強磁性層 132 のネットの磁気モーメントは、 M_i の符号を考慮して各サブ膜または膜の磁気モーメントの総和となる。すなわち、検出強磁性層のネットの磁気モーメントは $\sum_i M_i \cdot t_i$ となる。検出強磁性層 132 のネットの磁気モーメントは、逆平行結合層 260 の存在のために、個々の膜またはサブ膜の磁気モーメントの絶対値(modulus)の総和(すなわち $\sum_i |M_i| \cdot t_i$)よりも小さい。この層の有効厚さは、検出強磁性層と同一の磁気モーメントを有する特定の磁性材料の等価な厚さとして定義され得る。例えば、パーマロイの等価な厚さ $t_{Py,eff}$ は、 $t_{Py,eff} = (\sum_i M_i \cdot t_i) / M_{Py}$ により与えられる。強磁性層 132 内の強磁性膜 270 及び 245 の磁気モーメントが、非常に類似に編成される場合、 $t_{Py,eff}$ は非常に小さくなり得る。

【0021】図 4 には更に、検出強磁性多重層 132 の磁化を長手方向にバイアスするためのバイアス強磁性層 150 及びバイアス層 150 を検出強磁性多重層 132 及び MTJ 素子 100 の他の層から分離及び絶縁する絶縁層 160 が示される。バイアス強磁性層 150 は CoPtCr 合金などの硬磁性材料であり、印加磁場が不在の時、その磁気モーメント(矢印 151 で示される)が検出強磁性多重層 132 の磁気モーメント 133 と同一の方向に整列される。絶縁層 160 は好適にはアルミナ(Al_2O_3)またはシリカ(SiO_2)であり、これはバイアス強磁性層 150 を MTJ 素子 100 及び電気リード 102、104 から絶縁するために十分な厚さを有するが、検出強磁性多重層 132 との静磁気結合(破線で示される矢印 153)を可能にするように十分に薄い。検出強磁性多重層 132 内の磁性層の各々は、厚さ t_i 及び 1 単位面積当たりの磁気モーメント M_i を有する(ここで単位面積とは図 4 の紙面に垂直且つ ABS に垂直な面内にあり、すなわち、図 4 の矢印 133 の方向がこの面に垂直となる)。この時、安定な長手方向のバイアスを保証するために、積 $M_i \cdot t_i$ の総和(すなわち $\sum_i M_i \cdot t_i$)により定義される検出強磁性多重層の(図 4 の紙面に垂直な)単位長当たりのネットの磁気モーメント(M_i の方向を考慮)が、バイアス強磁性層 150 の $M \cdot t$ 以下でなければならない。例えば、検出強磁性多重層 132 内の膜がパーマロイ $Ni(100-x)Fe(x)$ (ここで x は約 19)(検出強磁性多重層内で使用される典型的な強磁性材料)から成り、バイアス強磁性層 150

が $\text{Co}_{75}\text{Pt}_{13}\text{Cr}_{12}$ （典型的な好適な硬磁性材料）から成る場合、各パーマロイ膜の単位面積当たりの磁気モーメントはバイアス強磁性層のその約2倍である。従って、バイアス強磁性層150の厚さは、検出強磁性多重層132の有効厚さ t_{eff} の少なくとも2倍である。ここでこの場合、 t_{eff} は単に $|t_{245} - t_{270}|$ である。

【0022】検出電流Iは第1の電気リード102から反強磁性層116、固定強磁性多重層118、トンネル障壁層120及び検出強磁性多重層132を通じて垂直方向に流れ、次に第2の電気リード104を通じて出力される。前述のように、トンネル障壁層120を通過するトンネル電流の量は、トンネル障壁層120に隣接し、接触する固定強磁性層118及び検出強磁性層132の磁化の相対方位の関数である。記録データからの磁場は検出強磁性多重層132の磁化方向を、矢印方向133から離れて、すなわち図4の紙面に入り込む方向または出て行く方向に回転させる。このことが強磁性多重層118、132の磁気モーメントの相対方位を、従ってトンネル電流の量を変化させ、これがMTJ素子100の電気抵抗の変化として反映される。抵抗のこの変化がディスク・ドライブ電子機構により検出され、ディスクからリードバックされるデータに処理される。検出電流は電気絶縁層160により、バイアス強磁性層150に達することを阻止される。絶縁層160はまた、バイアス強磁性層150を電気リード102、104から絶縁する。

【0023】次にMTJ素子100（図4及び図5）の代表的な材料セットについて述べることにする。MTJ素子100の全ての層は、基板の表面に平行に印加される磁場の存在の下で成長される。磁場は全ての強磁性層の容易軸を方向づける役目をする。最初に5nmのTaシード層（図示せず）が、下側にある電気リード102として機能する10nm乃至50nmのAu層上に形成される。シード層は、面心立方（fcc） $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ テンプレート層112の（111）成長を促進させる材料からなる。テンプレート強磁性層112は、反強磁性層116の成長を促進させる。好適なシード層材料はTaの他に、Pt、Al、Cuなどのfcc金属または3nm乃至5nmのTa/3nm乃至5nmのAlなどの層の組み合わせを含む。MTJベース電極スタック110は、4nmの $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ /10nmの $\text{Mn}_{50}\text{Fe}_{50}$ /3nmのCo/0.5nmのRu/2nmのCo（それぞれ層112、116及び層200、210及び225から成る多重層118に対応）のスタックを含み、これらが10nm乃至20nmのAu層102上のTaシード層上に成長される。Au層102は、基板の役目をするアルミナ・ギャップ材料G1上に形成される。次に0.5nm乃至2nmのAl層を付着し、次にプラズマ酸化することにより、トンネル障壁層120が形成され

る。これは Al_2O_3 絶縁トンネル障壁層120を形成する。上部電極スタック130は、4nmのNi-Fe/0.5nmのRu/3nmのNi-Fe/10nmのTa（それぞれ層245、260及び270から成る多重層132及び層134に対応）のスタックである。Ta層134は保護キャッピング層として機能する。上部電極スタック130は、上部電気リード104として機能する20nmのAu層により接触される。

【0024】強磁性膜200、225及び245、270として及びそれらの反強磁性結合膜210及び260として選択される材料に依存して、強磁性膜が強く反強磁性的に結合される好適な反強磁性結合膜の厚さが存在する。好適なCo/Ru/Co及びNi-Fe/Ru/Ni-Feの組み合わせでは、反強磁性結合膜Ruの厚さは周知の振動結合関係から選択され得る（ParkinらによるPhys. Rev. Lett., Vol. 64, p. 2034 (1990) 参照）。この振動関係のピークが2つのCoまたはNi-Fe膜の反強磁性結合が発生する厚さであり、2つのNi-Fe膜内の磁気モーメントの所望の逆平行アライメントを生じる。Ni-Fe/Ru/Ni-Feの組み合わせでは、最大の反強磁性交換結合強度が約10Å以下で発生する。Co/Ru/Coの組み合わせでは、最大の反強磁性交換結合強度が10Å以下で発生する。しかしながら、反強磁性結合膜の厚さはたくさんのピンホールが膜内に発生するように薄くてはならず、この場合その反強磁性結合強度が影響を受けることになる。従って、Ruの場合、好適な厚さは4Å乃至8Åの範囲である。

【0025】電流はMTJ素子100内の層に垂直に流れるので、MTJ素子の抵抗は主にトンネル障壁層120の抵抗により支配される。従って、導電リード102、104の単位面積当たりの抵抗は、電流が層に平行に流れる従来のMR読取りヘッドの場合よりも遥かに高くなる。従ってリード102、104が従来のMRヘッド構造に比較して薄くまたは狭くなり得、合金または要素の組み合わせなどの本質的に抵抗性の材料から形成され得る。

【0026】下側の電極スタック110内の層が滑らかであり、 Al_2O_3 トンネル障壁層120内に接合を電氣的に短絡するピンホールが無いことが重要である。例えば、金属多重層スタック内で良好な巨大磁気抵抗効果を生成するための、既知のスパッタリング技術による成長が有効である。MTJ素子100内において、固定強磁性多重層118及び検出強磁性多重層132の磁気モーメントの方向は、印加磁場が無い場合互いにほぼ直交する。固定強磁性多重層118の磁気モーメントの方向は、主として反強磁性層116の交換異方性磁場の方向により決定される。検出強磁性多重層132の磁気モーメントの方向は、強磁性多重層の層自身の真性異方性及びこの層の形状などの多数の要因により影響される。この真性磁気異方性は、検出強磁性多重層132を固定強

磁性多重層 118 の磁化方向に垂直に整列される小磁場内で付着することにより、検出強磁性多重層内に誘導され得る。検出強磁性多重層 132 の磁気モーメントの適正な方位は、長手方向のバイアス強磁性層 150 の存在により達成される。形成プロセスにより誘起されるこの層内の応力が、磁気異方性をもたらないように検出強磁性多重層 132 の磁気ひずみが (Ni-Fe 合金層 245 及び 270 の組成の選択により) 0 近くに編成される。

【0027】別の検出強磁性多重層 132 では、強磁性膜 245 が膜 245 とトンネル障壁層 120 との間の界面に、Co 若しくは $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は 20 乃至 70 の範囲)、または $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は約 60) の薄いサブ膜 240 を含み、強磁性膜 245 の残り (サブ膜 250) と膜 270 が $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は約 19) などの低磁気ひずみ材料から形成される。薄い Co 若しくは $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は 20 乃至 70 の範囲)、または $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は約 60) の界面膜を有するこのタイプの検出強磁性多重層 132 のネットの磁気ひずみは、この多重層を構成する大半の強磁性膜の組成の僅かな変化により 0 に近い値を有するように編成される。別の固定強磁性多重層 118 では、強磁性膜 225 が主として大量の $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ サブ膜 220 と、トンネル障壁層 120 との界面にある Co 若しくは $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は 20 乃至 70 の範囲)、または $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は約 60) の薄いサブ膜 230 とから成る。最大の信号が Co により、または最も高い分極 $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は約 60)、または $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は約 50) 合金により獲得される。界面層は最適には約 1 nm 乃至 2 nm の厚さである。結合膜のネットの磁気ひずみは、組成の小さな変化により 0 に近くなるように編成される。固定強磁性多重層 118 を構成する大半の膜が Ni-Fe の場合、組成は $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ であり大量の Ni-Fe が 0 の磁気ひずみを有する。

【0028】Fe-Mn 反強磁性層 116 は Ni-Mn 層により、或いは固定強磁性層 118 内の強磁性材料を交換バイアスし、 Al_2O_3 障壁層よりも実質的に小さい抵抗を有する他の好適な反強磁性層により置換され得る。Ni-Mn では好適なシード層 112 が Ti、W または Ti-W を含む。

【0029】図 6 乃至図 8 は、反強磁性的に結合される固定強磁性層及び自由強磁性層の存在しない MTJ 素子の磁気抵抗応答を、本発明による MTJ 素子と比較するものである。データは強磁性層が交換バイアス層との相互作用により固定または拘束される制限磁場範囲内において示される。図 6 は、 $\text{Si}/50\text{Å}$ の $\text{Ta}/150\text{Å}$ の $\text{Al}/40\text{Å}$ の $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}/100\text{Å}$ の $\text{Mn}_{46}\text{Fe}_{54}/36\text{Å}$ の $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}/15\text{Å}$ の $\text{Co}/120$ 秒酸化された 12Å の $\text{Al}/100\text{Å}$ の $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}/20$

0 Å の Al 形態の構造の磁気抵抗-磁場曲線を示し、ここで固定強磁性層は単層の強磁性層 (アルミナ・トンネル障壁に Co 界面層を有する) であり、自由強磁性層は単層の強磁性層である。

【0030】図 7 は類似の MTJ 素子の磁気抵抗応答を示すが、ここでは固定強磁性層だけが 30 Å の Co/7 Å の Ru/25 Å の Co から成る、反強磁性的に結合される多重層である。固定強磁性層の有効磁気モーメントは、約 5 Å のコバルトだけであり、これは図 6 の構造の固定強磁性層の磁気モーメントの約 7 分の 1 である。図 6 では MTJ 素子の抵抗は負の小さな磁場において、正の小さな磁場に比較して高いが、図 7 では磁気抵抗応答は逆転され抵抗が正の小さな磁場において高くなる。この結果は、固定強磁性層が実際に反強磁性的に結合される Co/Ru/Co のサンドイッチ構造から形成されることを証明する。下側の Co 膜 200 は設計上、上側の Co 膜 225 よりも僅かに大きな磁気モーメントを有するので (これはその僅かに大きな厚さ (前者の 30 Å に対して後者の 25 Å) と、下側の Co 膜が MnFe 交換バイアス層 116 と接触することによる)、下側の Co 膜 200 の磁気モーメントは、MnFe 層 116 の交換バイアス場の方向 (図 6 では正の磁場方向) に固定される。従って、上側の Co 膜 225 の磁気モーメントは負の磁場方向に固定される。なぜなら、上側の Co 膜 225 は Ru スペース層 210 を介する交換結合により、下側の Co 膜 200 に反強磁性的に結合されるからである。従って、正の小さな磁場では検出強磁性層 132 の磁気モーメント (これは自由に回転し印加磁場の方向に従う) が、正の磁場方向に沿って向けられ固定強磁性層 118 の上側の Co 膜 225 の磁気モーメントと反対である。従って MTJ 素子の抵抗が高くなる。印加磁場方向が反転され僅かに負になると、検出強磁性層 132 の磁気モーメントが負の磁場方向に沿って向けられ、上側の Co 膜 225 の磁気モーメントに平行になる。従って MTJ 素子の抵抗が低減される。

【0031】図 8 は本発明に従う構造の磁気抵抗応答を示し、これは検出強磁性層が反強磁性的に結合される 40 Å の $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}/7\text{Å}$ の Ru/30 Å の $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ のサンドイッチ構造から成る以外は、図 7 に示される応答の構造と類似である。磁気抵抗応答曲線は図 7 のそれと類似である。特に MTJ 素子の抵抗が、正の小さな磁場において高い。しかしながら、磁気抵抗応答曲線の形状は明らかに図 7 のそれとは異なる。特に曲線は 0 磁場近辺に中心を置かず、正の小さな磁場にシフトされる。こうしたシフトは、検出強磁性多重層 132 と固定強磁性多重層 118 との間の反強磁性結合の低下に一致し、これは検出強磁性層の磁気モーメントの低下に起因するこれらの層間の静磁気結合の低下に一致する。図 8 では、検出強磁性層の有効厚さは約 10 Å のパーマロイだけであり、これは図 6 及び図 7 の検出強磁性層の厚さ

の10分の1であり、MTJ素子の磁気抵抗の大きさに与える実質的な影響が無い。固定強磁性層と検出強磁性層との間の静磁気結合は、これらの層の磁気モーメントに直接比例するので、固定強磁性層または検出強磁性層内の逆平行結合層の使用はこれらの層間の静磁気結合の実質的な低下をもたらす。

【0032】逆平行に結合される固定強磁性層118の別の利点は、反強磁性層116により提供される交換バイアス場の大きさの有効な増加である。これが図9及び図10乃至図11に、逆平行結合の固定強磁性層だけを有する単純な構造の場合に対応して示される。図9は図6と同一のサンプルの磁気抵抗-磁場曲線を示すが、その磁場範囲は固定強磁性層を完全に配向し直す程の大きな範囲に及ぶ。これらのデータは、任意の続くアニーリング処理の無い磁素付着構造に対応する。固定強磁性層の交換バイアス場は約1300eであり、相当な保磁性(約700e)を有する。図10は、Si/200ÅのAl/40ÅのNi₈₁Fe₁₉/100ÅのMn₄₆Fe₅₄/30ÅのCo/7ÅのRu/25ÅのCo/120秒酸化された12ÅのAl/100ÅのNi₄₀Fe₆₀/200ÅのAl形態の構造を有する、反強磁性的に結合された固定強磁性多重層118を含むMTJ素子の磁気抵抗-磁場曲線を示す。図7及び図8に示される応答の構造と類似の逆平行に結合される多重層、すなわち30ÅのCo/7ÅのRu/25ÅのCoから成る固定強磁性多重層を完全に配向し直すためには、約60000eを越える非常に大きな磁場が要求される。この磁場は明らかに、図6の構造の固定強磁性層を配向し直すために要求される磁場よりも遥かに大きい。このことは反強磁性的に結合される多重層を用いる重要な利点である。反強磁性層116により提供される有効な交換バイアス場は、おおよそ $\{t_{225} + t_{200}\} / |t_{225} - t_{200}|$ の倍率で大きく高められ、ここで t_{225} 及び t_{200} は多重層118内のそれぞれの膜の厚さを表す。これはまた図11に示されるように制限された磁場範囲に渡り、図10のMTJ素子の応答を調査することにより示される。図11は、±2000eの範囲に渡る図10と同一の素子の磁気抵抗-磁場曲線を示す。MTJ素子は、固定強磁性層の任意の再配向を裏付ける証拠無しに、磁気抵抗の際立ったステップを示す。逆平行結合の固定強磁性層内の膜及び検出強磁性層の磁気モーメントの状態が図10内で矢印により示される。

【0033】逆平行交換結合の強磁性多重層の使用による、固定強磁性層の交換バイアスの類似の改善が、検出強磁性層が逆平行結合の多重層である構造においても獲得される。

【0034】本発明では、逆平行結合の固定強磁性多重層118が、反強磁性層116上に直接付着される。層116はそれ自体、結晶学的に共形のテンプレート層上に成長される。それに対して膜245(またはサブ膜2

40)は非晶質で、明確に定義された結晶学的構造を有さないトンネル障壁層120上に成長される。従って、層245の結晶質の性質は、トンネル障壁層120の反対側の固定強磁性多重層118内の層の結晶質の性質に関係しない。同様に、非晶質で絶縁性のトンネル障壁層120の平坦度は、MTJ素子の残りを構成する薄い金属層の平坦度とは非常に異なる。従って、本発明以前には、逆平行結合の検出強磁性多重層を成長することが可能か否かが明らかでなかった。なぜなら、これは極めて薄く平坦な反強磁性結合膜260の成長を要求するからである。

【0035】トンネル障壁層120上の逆平行結合の強磁性多重層の成長は、多重層を構成する膜が比較的厚ければ促進されるものと思われる。なぜなら、スパッタ付着される薄い金属膜が通常、ほぼ薄膜の厚さのサイズの結晶質粒子を有する多結晶質であるからである。反強磁性結合膜の使用は同一のアプリケーションにおいて、その反強磁性結合膜が存在しない場合の単層の強磁性固定膜または検出膜の厚さよりも厚い膜の使用を固定強磁性多重層及び検出強磁性多重層内において可能にする。従って、反強磁性結合膜の使用は多重層内の膜厚の選択において、より大きな柔軟性を可能にし、従って膜の物理特性の追加の制御を可能にする。特に、検出強磁性層が最初に付着され交換バイアス固定強磁性層がトンネル障壁層上に付着される、反転された磁気トンネル接合構造を成長させるには、比較的厚い固定強磁性層(それ上に交換バイアス層が付着される)を使用し好適な共形の層の成長を可能にしない限り困難である。50Åのパーマロイなどの薄い固定強磁性層では、例えばMnFe層との交換バイアスがほとんど得られない。しかしながら、反強磁性結合膜は多重層内で著しく厚い膜の使用を可能にし、それにより好適な共形のテンプレート層が形成され、交換バイアス場の合理的な値の発展を可能にする。この理由から、上述の図5に示されたMTJ素子はMTJ素子の最下部上に固定強磁性多重層118を有するが、素子は最初に検出強磁性多重層132を付着し、続いてトンネル障壁層120、固定強磁性多重層118及び反強磁性交換バイアス層116の順で付着することによっても形成され得る。こうしたMTJ素子は、図5に示されるMTJ素子とは本質的に反転された層を有する。

【0036】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0037】(1)印加磁場の存在の下で、磁気モーメントが好適な方向に固定され、互いに反強磁性的に結合される第1及び第2の強磁性膜と、前記第1及び第2の強磁性膜の間に接触して配置される反強磁性結合膜とを含む、固定強磁性多重層と、印加磁場の存在の下で、磁気モーメントが自由に回転でき、互いに反強磁性的に結合される第1及び第2の強磁性膜と、前記第1及び第2

17

の強磁性膜の間に接触して配置される反強磁性結合膜とを含む、自由強磁性多重層と、前記固定強磁性多重層と前記自由強磁性多重層との間に接触して配置され、前記固定強磁性多重層及び自由強磁性多重層間のトンネル電流を許可する絶縁トンネル層とを含む、磁気トンネル接合素子。

(2) 前記固定強磁性多重層及び自由強磁性多重層の磁気モーメントが、印加磁場が不在の時に互いに平行または逆平行である、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(3) 前記自由強磁性多重層の磁気モーメントが、印加磁場が不在の時に前記固定強磁性多重層の磁気モーメントに垂直である、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(4) 前記磁気トンネル接合スタックが、前記固定強磁性多重層の前記磁気モーメントを、界面交換結合により前記好適な方向に固定するための、前記固定強磁性多重層に接触する反強磁性層を含む、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(5) 前記固定強磁性多重層、前記絶縁トンネル層及び前記自由強磁性多重層が形成される基板を含み、前記固定強磁性多重層及び自由強磁性多重層が電気回路に接続されるとき、前記トンネル電流が前記絶縁トンネル層内を前記固定強磁性多重層及び自由強磁性多重層に垂直な方向に流れる、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(6) 各前記多重層内の前記第1及び第2の強磁性膜がCoまたはNi-Fe合金から形成され、各前記多重層内の前記反強磁性結合膜がRuから形成される、前記

(1) 記載の磁気トンネル接合素子。

(7) 各前記多重層内の前記第1の強磁性膜が第1及び第2の強磁性サブ膜から形成され、前記第1のサブ膜が前記絶縁トンネル層と接触し、 Co 、 $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は20乃至70の範囲)及び $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は約60)を含むグループから選択される材料から形成される、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(8) 磁気記録データからの外部磁場を検出する磁気トンネル接合読取りセンサであって、被検出外部磁場の範囲内の印加磁場の存在の下で、磁気モーメントが好適な方向に固定される固定強磁性多重層であって、互いに反強磁性的に結合される第1及び第2の強磁性膜と、前記第1及び第2の強磁性膜の間に接触して配置され、前記第1及び第2の強磁性膜と一緒に反強磁性的に結合し、それらの磁気モーメントを互いに逆平行に整列させ、印加磁場の存在の下で該磁気モーメントを逆平行に維持する反強磁性結合膜とを含む、固定強磁性多重層と、印加磁場が不在の時、前記固定強磁性多重層の磁気モーメントに垂直な磁気モーメントを有し、前記被検出外部磁場の範囲内の印加磁場の存在の下で、磁気モーメントを前

18

記垂直方向から離れ、自由に回転できる検出強磁性多重層であって、互いに反強磁性的に結合される第1及び第2の強磁性膜と、前記第1及び第2の強磁性膜の間に接触して配置され、前記第1及び第2の強磁性膜と一緒に反強磁性的に結合し、それらの磁気モーメントを互いに逆平行に整列させ、印加磁場の存在の下で、該磁気モーメントを逆平行に維持する反強磁性結合膜とを含む、検出強磁性多重層と、前記固定強磁性多重層の前記第1の膜と、前記検出強磁性多重層の前記第1の膜との間に接触して配置され、前記固定強磁性多重層及び前記検出強磁性多重層に垂直な方向にトンネル電流を許可する絶縁トンネル障壁層と、前記固定強磁性多重層、前記絶縁トンネル障壁層及び前記検出強磁性多重層が形成される基板であって、前記固定強磁性多重層及び前記検出強磁性多重層が前記被検出外部磁場に晒されるとき、前記検出強磁性多重層の磁気モーメントがその方向を前記固定強磁性多重層の磁気モーメントに対して変化させ、前記絶縁トンネル障壁層内を、前記固定強磁性多重層及び前記検出強磁性多重層に垂直な方向に流れる電流の電気抵抗が変化し、それにより外部磁場の検出を可能にする、基板と、を含む、磁気トンネル接合読取りセンサ。

(9) 前記固定強磁性多重層と接触し、該固定強磁性多重層の磁気モーメントを界面交換結合により前記好適な方向に固定する反強磁性層を含む、前記(8)記載の磁気トンネル接合読取りセンサ。

(10) 前記固定強磁性多重層及び検出強磁性多重層の各々内の前記第1及び第2の強磁性膜が、CoまたはNi-Fe合金から形成され、各前記多重層内の前記反強磁性結合膜がRuから形成される、前記(8)記載の磁気トンネル接合読取りセンサ。

(11) 前記固定強磁性多重層及び検出強磁性多重層の各々内の前記第1の強磁性膜が、第1及び第2の強磁性サブ膜から形成され、前記第1のサブ膜が前記絶縁トンネル障壁層と接触し、 Co 、 $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は20乃至70の範囲)及び $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_x$ (x は約60)を含むグループから選択される材料から形成される、前記(8)記載の磁気トンネル接合読取りセンサ。

(12) 前記検出強磁性多重層の磁気モーメントを印加磁場が不在の時、前記固定強磁性多重層の磁気モーメントに垂直な方向に、長手方向にバイアスするバイアス強磁性層と、前記バイアス強磁性層と前記検出強磁性多重層との間に配置され、前記バイアス強磁性層を前記検出強磁性多重層から電氣的に絶縁する電気絶縁層とを含む、前記(8)記載の磁気トンネル接合読取りセンサ。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従うMTJ MR読取りヘッドが使用される、従来の磁気記録ディスク・ドライブの単純化されたブロック図である。

【図2】カバーが除去された状態の図1のディスク・ドライブの上面図である。

【図 3】MR 読取りヘッドが誘導書き込みヘッドに隣接して、シールド間に配置される従来の誘導書き込みヘッド／MR 読取りヘッドの垂直断面図である。

【図 4】本発明の MTJ MR 読取りヘッドの断面図である。

【図 5】図 4 に示される MTJ MR 読取りヘッドを構成する MTJ 素子の断面図である。

【図 6】非逆平行結合の固定強磁性層と検出強磁性層とを有する MTJ 素子の制限磁場範囲内での磁気抵抗-磁場曲線を示す図である。

【図 7】逆平行結合の固定強磁性多重層と検出強磁性層とを有する MTJ 素子の制限磁場範囲内での磁気抵抗-磁場曲線を示す図である。

【図 8】逆平行結合の固定強磁性多重層及び逆平行結合の検出強磁性多重層を有する MTJ 素子の制限磁場範囲内での磁気抵抗-磁場曲線を示す図である。

【図 9】固定強磁性層を完全に配向し直すのに十分に大きな磁場範囲に渡る図 6 に示される応答と同一の構造の磁気抵抗-磁場曲線を示す図である。

【図 10】拡張された磁場範囲に渡る逆平行結合の固定強磁性層を有する MTJ 素子の磁気抵抗-磁場曲線を示す図である。

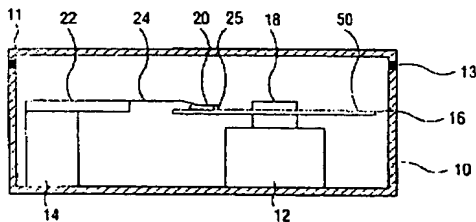
【図 11】制限された磁場範囲に渡る逆平行結合の固定強磁性層を有する MTJ 素子の磁気抵抗-磁場曲線を示す図である。

【符号の説明】

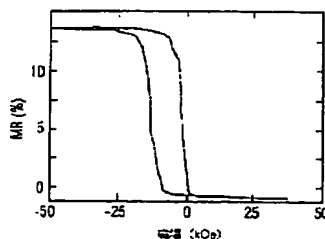
- 10 ベース
- 11 カバー
- 12 ディスク駆動モータ

- 13 ガスケット
- 14 アクチュエータ
- 15 集積回路チップ
- 16 磁気記録ディスク
- 17 可撓性ケーブル
- 18 ハブ
- 19 ケーブル
- 20 エア・ベアリング・スライダ
- 22 剛性アーム
- 24 サスペンション
- 25 読取り／書き込みヘッド
- 40 MR センサ
- 50 潤滑膜
- 100 MTJ 素子
- 102、104 電気リード
- 110、130 電極スタック
- 112 テンプレート層
- 116 反強磁性交換バイアス層
- 118 固定強磁性層
- 20 120 絶縁トンネル障壁層
- 132 検出強磁性層
- 133 磁気モーメント
- 134 キャッピング層
- 150 バイアス強磁性層
- 153 静磁気結合
- 160 絶縁層
- 200、225、245、270 強磁性膜
- 210、260 非強磁性膜
- 240、250 強磁性サブ膜

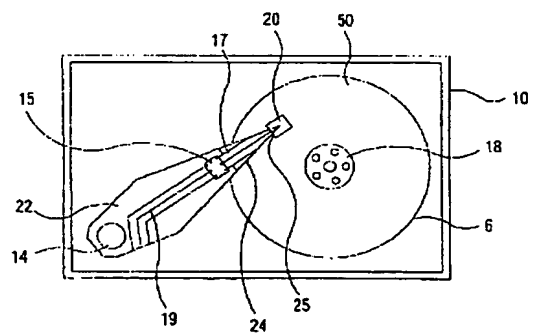
【図 1】



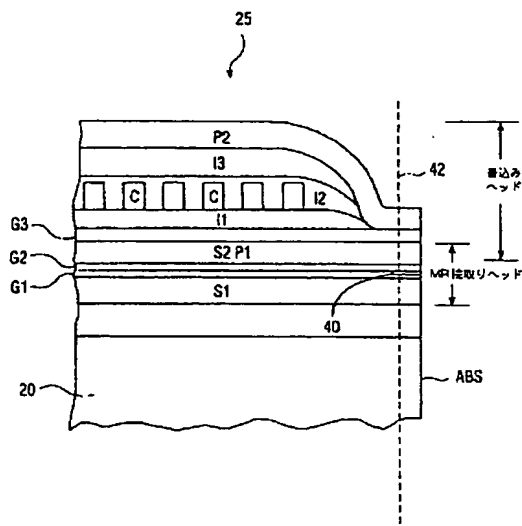
【図 6】



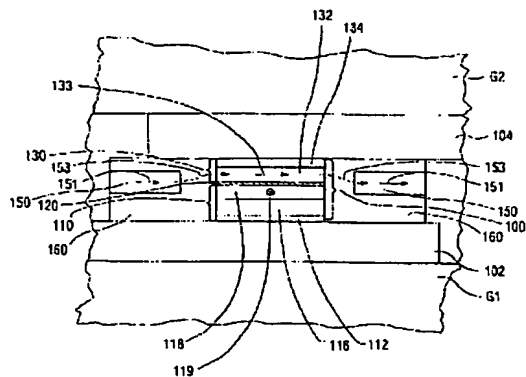
【図 2】



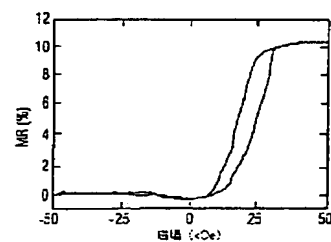
【図 3】



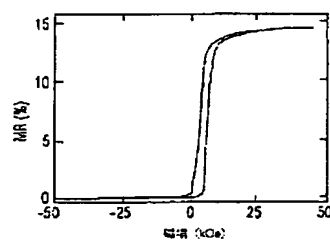
【図4】



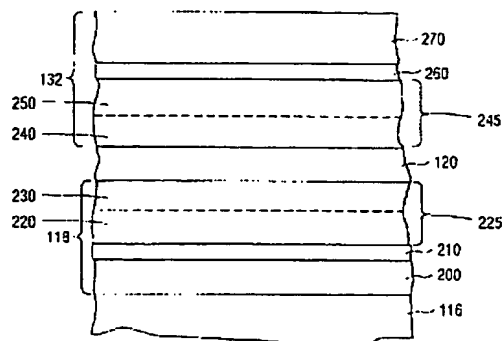
【图 8】



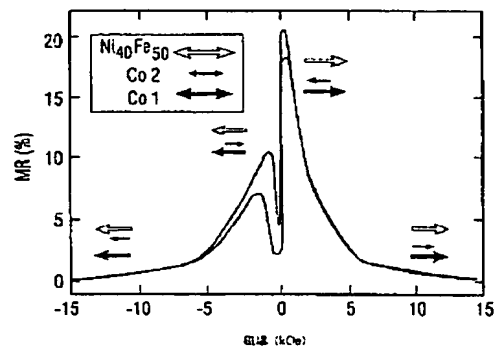
【図 7】



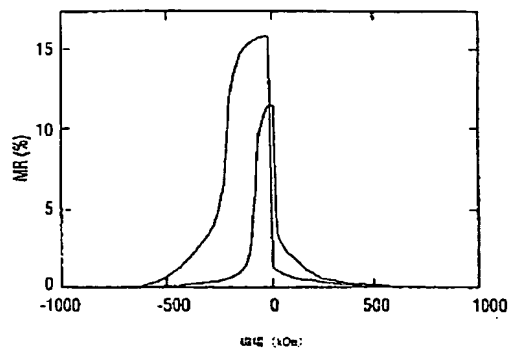
【図5】



【図 10】



【图9】



【図11】

